

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Абзалова Данила Илдусовича
«Самораспространяющийся высокотемпературный синтез оксинитрида
магния-алюминия и получение прозрачной керамики на его основе»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 1.3.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика
экстремальных состояний вещества

Диссертация Абзалова Д.И. развивает представления о макрокинетике экзотермических реакций в многокомпонентных порошковых системах при высоких давлениях газа и доводит эти представления до практического результата в виде прозрачного керамического материала.

Актуальность работы объясняется растущей потребностью в материалах, сочетающих высокие механические и оптические характеристики. Исследования по созданию прозрачной керамики активно проводятся во всех развитых странах, поскольку такие материалы имеют широкий потенциал применения в передовых технологиях для решения актуальных задач различных отраслей. В настоящее время значительное внимание привлекает прозрачная керамика на основе оксинитрида магния-алюминия (MgAlON). Керамика MgAlON представляет собой твердый раствор на основе тройной системы AlN-MgO-Al₂O₃. Данный материал обладает сочетанием отличных механических свойств с высокой прозрачностью в широком диапазоне света. Это делает материал привлекательным для создания оптических элементов, работающих в широком спектральном диапазоне, в условиях повышенных температур и механических нагрузок.

Однако ключевая проблема заключается в способе получения оксинитрида магния-алюминия. Традиционные методы синтеза – твердофазные реакции и карботермическое восстановление – требуют длительных выдержек при температурах выше 1700 °С и сложного оборудования.

Автор предлагает принципиально иной подход, основанный на самораспространяющемся высокотемпературном синтезе (СВС). Метод СВС позволяет синтезировать материал за короткий промежуток времени без высоких энергозатрат. Таким образом, данный метод является перспективной

альтернативой традиционным методам синтеза оксинитрида магния-алюминия.

Структура диссертационной работы. Работа изложена на 147 страницах, включает введение, пять глав, общие выводы, список литературы из 167 наименований и приложение. Текст иллюстрирован 60 рисунками и 18 таблицами.

Содержание работы.

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цели, задачи исследования, научная новизна и практическая значимость работы, приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен литературный обзор об исследованиях в области прозрачной керамики. В особенности подробно рассмотрены системы на основе оксинитрида алюминия (AlON), алюмомагниевого шпинели (MgAl_2O_4) и оксинитрида магния-алюминия (MgAlON). Подробно рассмотрены методы синтеза порошков и подходы к спеканию. Большое внимание уделено получению порошков методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. На основе проведенного литературного анализа автором сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе представлены характеристики исходных используемых порошков, описаны установки для проведения экспериментов, а также методы исследования полученных материалов. В главе автор подробно описывает использованный подход для расчета составов шихты, который основан на представлении системы MgAlON как непрерывного ряда твердых растворов между AlON и MgAl_2O_4 .

В третьей главе представлены результаты исследования самораспространяющегося высокотемпературного синтеза MgAlON с использованием $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$ в качестве окислителя алюминия. Изучено влияния начального давления азота на параметры горения (температуру и скорость распространения фронта горения), фазовый состав и микроструктуру продуктов горения. На основе полученных данных сделан вывод, что давления азота 5 МПа является достаточным для получения однофазных порошков MgAlON . Проведены исследования влияния реакций азотирования и окисления алюминия на макрокинетические параметры горения. В ходе исследования было установлено, что реакция окисления оказывает более значительное влияние на температуру и скорость горения. Полученные данные позволяют рассчитывать исходные составы с требуемой

температурой горения. Проведены исследования возможности синтеза порошков оксинитрида магния-алюминия с использованием гранулированных смесей, а также с использованием порошка магния.

В четвертой главе представлены результаты исследования самораспространяющегося высокотемпературного синтеза $MgAlON$ с использованием перхлората калия. Аналогично 3 главе исследуются реакции азотирования и окисления алюминия на макрокинетические параметры горения. Далее автором выполнено сравнение экспериментальных данных, полученных при использовании перхлората магния и калия. В ходе сравнения было установлено, что при использовании перхлората калия температура и скорость горения заметно выше. Возможной причиной автор указывает гигроскопичность перхлората магния, подтверждая это термодинамическими расчетами, выполненными в программе Thermo, где на 1 моль перхлората магния автор заложил 2 моля воды. Также проведено сравнения фазового состава продуктов горения при использовании различных окислителей. Показано, что при использовании перхлората калия в продуктах горения остаются хлориды калия. Однако автор логично утверждает, что хлорид калия легко удаляется из продуктов горения посредством промывки в воде.

В пятой главе исследуется принципиальная возможность получения прозрачной керамики из синтезированных порошков $MgAlON$. Для исследования были выбраны порошки трех составов с различным расчетным соотношением $AlON/MgAl_2O_4$ в $MgAlON$, которые спекались в высокотемпературной печи в среде азота в течение 10 часов при трех температурах: 1830, 1880 и 1930 °C. После спекания определялось светопропускание спеченных образцов и было установлено, что образцы $MgAlON$ достигают прозрачности более 50 % в ИК-диапазоне. Это является убедительным доказательством того, что предложенный метод синтеза является пригодным для практического использования. Также проведены исследования свойств полученной после спекания керамики и установлено, что при смещении состава в сторону алюмомагниевого шпинели коэффициенты температуропроводности и теплопроводности увеличиваются, а при смещении состава в сторону оксинитрида алюминия увеличиваются механические свойства (твердость по Виккерсу, трещиностойкость, микротвердость).

В конце диссертации приведены основные результаты работы и выводы.

Научная новизна и достоверность

Впервые разработан способ получения однофазного порошка оксинитрида магния-алюминия различного элементного состава методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза. Впервые получена прозрачная керамика на основе СВС-порошков данного материала. Установлено, что оптимальная температура спекания (в диапазоне 1830-1930 °С) зависит от элементного состава оксинитрида магния-алюминия и при смещении расчетного состава в сторону алюмомагниевого шпинели оптимальная температура спекания снижается. Установлено, что механические и теплофизические свойства существенно зависят от элементного состава оксинитрида магния-алюминия.

Достоверность результатов подтверждается их воспроизводимостью. Данные РФА, СЭМ, БЭТ, ТГА, дилатометрии и механических испытаний взаимно дополняют друг друга. Кроме того, результаты термодинамических расчетов согласуются с экспериментальными данными.

Практическая ценность работы подтверждена патентом РФ на способ получения прозрачной керамики и демонстрацией масштабируемости процесса. Установленные зависимости «состав — свойства» позволяют целенаправленно выбирать материал под конкретную задачу.

По тексту работы имеются замечания.

1) В п.3.1 согласно оценке количество требуемого в порах азота для реагирования с алюминием достигается при давлении 4.7 МПа, а в эксперименте максимальная температура наблюдается при 20 МПа (см. рис. 10). Сделано заключение, что расхождение связано с избыточным давлением кислорода, выделяющегося при разложении перхлората магния. Однако при разложении перхлората магния еще выделяется хлор. Авторы предположили, что хлор взаимодействует с магнием (уравнение (1) п.2.4.1). Продукт взаимодействия также может испаряться при температурах более 1400 °С. В продуктах реакции нет хлорида магния (см. рис 11). Необходимо пояснить в каком виде остается хлор после СВС процесса.

2) В п.3.3 исследовано влияние реакций азотирования и окисления алюминия на характеристики процесса. Сделан вывод о том, что реакция окисления имеет большее влияние на процесс. На мой взгляд, этот вывод очевиден, с учетом того, что реакционная способность кислорода значительно превосходит таковую азота и тепловой эффект реакции окисления в 2.6 раза выше на моль алюминия, чем у азотирования. Основной

результат этого раздела заключается в выявлении влияния состава реагентов на характеристики конечного продукта.

3) Следует пояснить, почему для одного состава (М50) в разных сериях экспериментов получились одинаковые значения температуры, но различные значения скорости горения – 2.2 мм/с на Рис. 19 и менее 1.7 (от 0.9 до 1.7) мм/с на Рис. 31?

4) В п.4.3 на основе термодинамических расчетов сделан вывод, что температура разложения перхлоратов магния и калия не играет существенной роли на характеристики горения. Следует заметить, что расчеты сделаны при стандартных условиях. Если провести расчеты с учетом повышенной начальной температуры смеси (250 °С для перхлората магния и 530 °С для перхлората калия), то адиабатические температуры будут различаться. Таких расчетов проведено не было.

Указанные замечания не носят принципиального характера, не затрагивают основных результатов и выводов диссертации, и не снижают общую положительную оценку работы.

Заключение

Диссертация Абзалова Данила Илдусовича представляет собой законченное научное исследование, в котором автор демонстрирует способность формулировать и решать задачи на стыке химической физики и материаловедения. Работа выполнена на современном методическом уровне, её результаты опубликованы в рецензируемых журналах, апробированы на конференциях и защищены патентом. Автореферат соответствует диссертации и достаточно полно отражает ее содержание.

По актуальности, научной новизне, практической значимости и достоверности полученных результатов диссертация полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в актуальной редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Абзалов Данил Илдусович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.3.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества.

Официальный оппонент,

в.н.с. лаборатории горения в высокоскоростных потоках, Федеральный исследовательский Центр проблем химической физики и медицинской химии

РАН, доктор физико-математических наук (специальность 01.04.17 – Химическая физика, горение и взрыв, физика экстремальных состояний вещества)



Салганский Евгений Александрович

Тел. +7 496 522-13-68. Email: sea@icp.ac.ru

142432, Московская область, г. о. Черноголовка, г. Черноголовка, проспект академика Семенова, д. 1

Я, Салганский Евгений Александрович, даю согласие на обработку моих персональных данных, связанную с защитой и оформлением аттестационного дела Д.И. Абзалова.

28.09.2026

Подпись:



Подпись Салганского Евгения Александровича заверяю:

Ученый секретарь

Федерального государственного бюджетного учреждения науки

Федерального исследовательского центра

проблем химической физики и медицинской химии

Российской академии наук



Б.Л. Психа